

Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*: II. Variaciones en la densidad básica y la longitud de fibras en Lobería, Provincia de Buenos Aires, Argentina

D. V. IGARTÚA¹, S. E. MONTEOLIVA²,
M. G. MONTERUBBIANESI¹ & M. S. VILLEGAS²

¹ Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Agrarias.

² Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.

Email: digartua@balcarce.inta.gov.ar

IGARTÚA, D. V., S. E. MONTEOLIVA, M. G. MONTERUBBIANESI & M. S. VILLEGAS. 2002. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*: II. Variaciones en la densidad básica y la longitud de fibras en Lobería, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Rev. Fac. Agron. 105(1): 29-39.

El objetivo del trabajo fue caracterizar una masa madura de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* implantada en el Partido de Lobería, Provincia de Buenos Aires, en términos de densidad básica, longitud de fibras y sus variaciones dentro y entre individuos. Se estudiaron 10 árboles de 30 años, a 1,3 m del suelo, a niveles proporcionales a la altura comercial (30 % y 60 %), y en una secuencia de muestreo proporcional a la longitud de los radios norte y sur (10 %, 50 % y 90 %).

Los efectos de altura de muestreo y posición en el radio - y orientación cardinal para longitud de fibras- fueron evaluados según un modelo lineal mixto, considerando efectos aleatorios al árbol y sus interacciones. Se encontraron magnitudes y patrones de variación axial y radial acordes a los mencionados para la especie y para la región. La densidad básica manifestó diferentes magnitudes de aumento desde la médula a la corteza, según la altura de muestreo en el árbol (a 1,3 m: de 0,527 Kg.dm⁻³ a 0,666 Kg.dm⁻³; al 30%: de 0,609 Kg.dm⁻³ a 0,706 Kg.dm⁻³ y al 60%: de 0,668 Kg.dm⁻³ a 0,708 Kg.dm⁻³). La variación entre árboles, si bien significativa ($p < 0.10$), resultó de escasa relevancia. Para la longitud de fibras resultó de considerable importancia la variación radial, dentro de cada posición axial, (a 1,3 m: de 956,69 mm a 1169,25 mm; al 30%: de 912,61 mm a 1194,86 mm; al 60%: de 954,79 mm a 1212,49 mm). Fue poco destacada la influencia de la orientación cardinal de los radios, y no significativa la variación entre árboles.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, calidad de la madera, densidad de madera, longitud de fibras.

IGARTÚA, D. V., S. E. MONTEOLIVA, M. G. MONTERUBBIANESI & M. S. VILLEGAS. 2002. Wood quality of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*: II. Basic wood density and fibre length variations in Lobería, province of Buenos Aires, Argentine. Rev. Fac. Agron. 105(1): 29-39.

Axial and radial variations in wood density and fibre length of *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* Labill. "eucalipto blanco", were studied in ten 30 year-old trees growing at Lobería, Province of Buenos Aires. Samples were taken at three axial levels (1,3 m, 30 % and 60 % of commercial height) and at three radial points (10 %, 50 % and 90 % of radial length) in two cardinal positions (north and south). Effects of sampling height, radial and cardinal positions were assessed with a mixed linear model considering the tree and its interactions random effects. The outputs from the model agree in magnitude and patterns of axial and radial variation with those expected for this species. Wood density increased towards the bark in different magnitude according to sampling height (at 1,3 m: from 0,527 Kg.dm⁻³ to 0,666 Kg.dm⁻³; at 30%: from 0,609 Kg.dm⁻³ to 0,706 Kg.dm⁻³ and at 60%: from 0,668 Kg.dm⁻³ to 0,708 Kg.dm⁻³). Variation among trees was significant ($p < 0.10$) but of scarce relevance. For fibre length significant differences were found for radial variation at each axial position: at 1,3 m: from 956,69 mm to 1169,25 mm; at 30 %: from 912,61 mm to 1194,86 mm; at 60 %: from 954,79 mm to 1212,49 mm). There was not influence of cardinal position of radii and the variation among trees was not significant.

key words: *Eucalyptus globulus*, wood quality, wood density, fibre length.

INTRODUCCIÓN

El litoral marítimo de la zona sudeste de la provincia de Buenos Aires representa una condición de sitio óptima para el desarrollo del *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* Labill. "eucalipto blanco". (Golfari, 1985; Moschini *et al.*, 2000). El recurso forestal de la región corresponde a innumerables montes de reparo y cortinas rompevientos implantados con esta especie. Tiene una dispersión espacial atomizada en pequeñas formaciones, generalmente lineales, ocupando una superficie aún no fidedignamente inventariada. No todos estos montes corresponden a una situación de masa regularmente poblada, ni han sido conducidos silviculturalmente y revisten un claro estado de madurez. Las informaciones dasométricas revelan que los crecimientos medios en volumen de estas poblaciones igualan a los de sus mejores estaciones de crecimiento en el resto del mundo (Cozzo, 1995; FAO, 1981).

Desde mediados de los '80, estas poblaciones de *E. globulus* han sostenido una actividad exportadora de rollizos con destino a la industria papeleras de Japón, Noruega, Italia y España (Bonifacino, com. pers., 2000). La madera de *E. globulus* es una de las mejores entre las latifoliadas para producir un amplio rango de papeles blanqueados de alta calidad. Entre los atributos de sus pulpas se mencionan la suavidad, la buena formación de la hoja de papel, su excelente opacidad y porosidad. Son apropiadas para la manufactura de papeles de impresión, escritura y tisú (Rodríguez & Torres, 1991; Foelkel, 1998).

La oferta exportable regional es, hasta el momento, desconocida en términos de su calidad o aptitud como materia prima para la industria del pulpero y elaboración del papel. Este aspecto ha sido abordado recientemente en una publicación para otro sitio de crecimiento (Igartúa *et al.*, 2000). Considerándola una cuenca forestal en desarrollo, se aspira a lograr la caracterización de esta materia prima fibrosa de acuerdo a su principal destino

industrial en el mundo: la producción de pastas Kraft blanqueadas (Foelkel, 1998), lo que contribuirá a robustecer la actividad exportadora.

Entre los parámetros usualmente evaluados para calificar la aptitud de un recurso para la industria, la densidad básica ha probado ser un apropiado estimador de la calidad papelera en términos de los rendimientos de los procesos de pulpero, del consumo de reactivos, de las resistencias de los papeles y otras características como sus propiedades ópticas y su calidad superficial (Ferreira, 1972; Valente *et al.*, 1992). No es posible calificar como apropiado o no un valor de densidad sin relacionarlo con el proceso de pulpero a emplear y el tipo de producto papeleras a obtener, para cada uno de ellos existe una situación óptima. La densidad básica es un parámetro de fácil determinación, que resulta principalmente de las dimensiones celulares y de las proporciones relativas de los tejidos del plan leñoso, entre los que se destaca el tejido fibroso. Las fibras representan en la madera de *E. globulus* alrededor del 70 % de los elementos celulares (Dadswell, 1972 citado por Jorge, 2000), y sus dimensiones (longitud y el espesor de las paredes celulares) son también características cuya variación está asociada con el logro de diferentes calidades en los papeles en términos de sus resistencias, propiedades ópticas y características superficiales. Por ello estos dos atributos cobran relevancia al momento de caracterizar la materia prima para la industria del pulpero y la elaboración del papel.

El modelo de *variación radial* dentro del árbol más comúnmente descrito para el género *Eucalyptus* indica un aumento de la densidad básica y de la longitud de fibras desde la médula hacia la corteza (Tomazello Filho 1985a; 1985b; 1987; Wilkes, 1988; Valente *et al.*, 1992; Igartúa *et al.*, 2000; Raymond & Muneri, 2001; Muneri & Raymond, 2001).

La variabilidad interna debida a la orientación cardinal, tanto para la densidad bási-

ca como para la longitud de fibras, es reconocida en la literatura (Downes *et al.*, 1997), así, la mayoría de los autores, han estandarizado este aspecto, fijando o controlando el factor al realizar el muestreo en un radio determinado o promediando estimaciones de radios opuestos, otorgando comparabilidad a las determinaciones dentro y entre los árboles (Tomazello Filho 1985a; 1985b; 1987; Bhat *et al.*, 1990; Hamza & Lewark, 1994). Otros la han analizado específicamente como fuente de variación (Ferreira, 1972; Raymond & Muneri, 2001; Muneri & Raymond, 2001; Igartúa *et al.*, 2000; Bisset & Dadswell, 1949).

Taylor (1973), Sardinha & Hughes (1978-1979) y Gonzaga *et al.*, (1983) describieron interacciones entre las variaciones radial y axial de la densidad básica en *E. grandis*, *E. saligna* y *E. viminalis*, respectivamente, dado que encontraron diferentes evoluciones radiales según la altura en el árbol.

En el *sentido axial* las variaciones de la densidad básica y la longitud de fibras resultan menos destacadas (Wilkes, 1988). Se menciona como característica general la manifestación de un aumento de la densidad desde la base al ápice (Valente *et al.*, 1992; Ferreira, 1972; Igartúa *et al.*, 2000) y la disminución de la longitud de fibras en igual sentido (Wilkes, 1988; Valente *et al.*, 1992).

Sin embargo algunos autores han descrito un descenso inicial de la densidad básica hasta el 10-25 % de la altura comercial y su aumento posterior (Taylor, 1973; Manfredi & Barrichelo, 1985; Busnardo *et al.*, 1987; Bhat *et al.*, 1990; Raymond & McDonald, 1998; Raymond & Muneri, 2001).

En relación con la variación axial de la longitud de fibras, se han descrito leves aumentos hasta el 15 % - 35 % de la altura total y luego la disminución hacia el ápice (Jorge *et al.*, 2000; Ridoutt & Sands, 1993, 1994); así como leves disminuciones hacia el 30 % de la altura comercial del fuste seguidas de un débil aumento hacia el ápice (Igartúa *et al.*, 2000)

Desde la perspectiva del crecimiento de

los árboles y de la formación de la madera se ha mencionado que la formación de madera juvenil y madera madura constituye una importante fuente de variación de la densidad y longitud de fibras dentro del árbol (Zobel & Talbert, 1988; Wilkes, 1988; Fonseca, 1989; Jozsa & Middleton, 1994; Yang *et al.*, 1994). La madera juvenil, se forma en el centro del árbol, es también llamada "madera de copa" en referencia a la abundancia de carbohidratos y reguladores de crecimiento en la zona del cambium cerca de la copa, hecho en base al cual algunos autores han explicado la formación de este cilindro central de madera juvenil. Otros, relacionaron su desarrollo al año de formación de las células iniciales del cambium cercanas a la médula, indicando para la madera juvenil una forma cónica también de localización central (Yang *et al.*, 1994). Existe coincidencia en caracterizarla como un leño de más baja densidad, elementos fibrosos más cortos e inferiores propiedades de resistencia en comparación con la madera madura. (Zobel & Talbert, 1988; Jozsa & Middleton, 1994). La proporción de madera juvenil formada varía con las especies, aunque también está relacionada con la edad. (Jozsa & Middleton, 1994; Yang *et al.*, 1994)

Con la finalidad de contribuir al conocimiento de la calidad papelería del recurso forestal en el que se ha basado la actividad exportadora regional hasta el momento, el objetivo del presente trabajo fue el de caracterizar una masa madura de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* implantada en el Partido de Lobería, Provincia de Buenos Aires, en términos de densidad básica, longitud de fibras y sus variaciones dentro y entre individuos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material de estudio corresponde a individuos de una masa coetánea madura de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* implantada en el establecimiento La Clavija, Pieres, Partido de

Lobería, (38° 25' S; 58° 42' O; 20 m.s.n.m calculada sobre carta topográfica del Instituto Geográfico Militar). Las temperaturas máximas media y absoluta del mes más cálido son 28,5 °C y 37°C, y las mínimas media y absoluta del mes más frío son 2,7°C y -6°C respectivamente. (Rodríguez, com. pers., 2000). El suelo de este sitio es un Argiudol típico, desarrollado a partir de loess. (Soil Survey Staff, 1998)

Los árboles estudiados, de aproximadamente 30 años, pertenecen a una plantación característica del recurso forestal maduro de la región. Se seleccionaron 10 árboles, sin evidencia visible de enfermedad o daño, ni inclinación del fuste respecto a la posición vertical normal, pertenecientes al estrato de los codominantes. Estas restricciones en el muestreo fueron definidas para minimizar los riesgos de confundir el análisis con fuentes de variación tales como la presencia de madera deteriorada, de madera de tensión, de árboles con desarrollos no correspondientes a un poblamiento regular, u oprimidos (Fonseca, 1989). Como fue mencionado antes, dada las características del recurso de la región, conformado por cortinas y montes de reparo maduros y no intervenidos silviculturalmente, existe la probabilidad de encontrar individuos relativamente aislados, oprimidos, enfermos, o inclinados. En la Tabla 1 se indican valores de diámetro y alturas de los árboles seleccionados.

En cada ejemplar se marcó la orientación cardinal Norte y se procedió al muestreo destructivo, según niveles proporcionales a la altura comercial (30 % y 60 %) y a 1,3 m desde el suelo o altura del pecho (AP) para analizar la variación axial. Para el estudio de la variación radial, se definió una secuencia proporcional a la longitud de los radios (10 %, 50 % y 90 %).

Se tomaron rodajas de 10 cm de espesor en cada nivel de muestreo axial, las que fueron rotuladas y colocadas en bolsas de polietileno para evitar su desecación brusca hasta el envío al laboratorio. Allí se marcó el diámetro norte-sur conteniendo a la médula y sobre cada uno de los radios se determinaron las

tres posiciones de muestreo. Quedaron definidas seis probetas para las determinaciones de densidad básica y longitud de fibras por cada rodaja, es decir 18 posiciones de muestreo en el árbol individual.

La densidad básica [peso seco en estufa / volumen verde] se determinó según la norma IRAM 9544 (Argentina) sobre probetas de 2 cm x 2 cm x 2 cm, pulidas, libres de nudos, pudriciones, quino y rajaduras. Para el cálculo del volumen verde se saturaron las probetas por inmersión en agua destilada durante 7 días. Este volumen se determinó por desplazamiento de fluidos: inmersión en agua destilada a 4 °C (Coronel, 1994). El peso seco se determinó luego de la permanencia de las probetas en estufa durante tres días en el rango comprendido entre 108 °C y 102 °C, ó hasta peso constante.

Las determinaciones de longitud de fibras se realizaron sobre material disociado según la técnica de Jeffrey (Jane, 1956), montados sobre portaobjetos de manera no permanente y sin colorear. Se midieron 30 fibras enteras al azar por cada una de las 18 posiciones de muestreo en el árbol (cada orientación cardinal por posición radial por altura de muestreo), con un microscopio de pantalla Reichert, a una magnificación de 130 x. Resultaron analizadas 60 fibras enteras por cada posición en el radio y altura de muestreo. El tamaño muestral se definió en base a una limitante operativa y a las referencias de la literatura. Hamza & Lewark (1994), sobre *E. tereticornis*, *E. camaldulensis*, *E. paniculata* y *E. citriodora* obtuvieron como número mínimo necesario para estimar la media de longitud de fibras por cada una de 16 posiciones, entre 18 y 35 fibras, a través de un intervalo de confianza del 95 % con semiamplitud del 5 % de la media. Jorge (1996) y Jorge *et al.*, (2000) en *E. globulus*, tomaron 40 fibras por posición en el radio y altura de muestreo. Downes *et al.*, (1997), indicaron que para estimar la media de largo de fibra por anillo anual en *Eucalyptus nitens* a diferentes alturas, con 5 % de "exactitud" es necesario mínimamente entre 30 y 60 fibras.

Para la densidad básica se analizó el efec-

Tabla 1. Caracterización dendrométrica de los árboles seleccionados.

Dendrometric characteristics of selected trees.

Arbol N°	Altura comercial* (m)	Altura total (m)	DAP** (cm)	Coefficientes mórficos
11	29,0	33,0	47,3	0,37
12	30,4	35,4	52,0	0,44
13	30,0	37,4	62,0	0,38
14	31,1	37,2	57,0	0,37
15	29,0	34,5	57,0	0,42
16	29,9	34,6	51,0	0,41
17	26,0	32,0	39,0	0,41
18	30,4	34,0	44,0	0,39
19	30,6	35,2	41,0	0,48
20	29,7	34,0	57,5	0,44
Promedio	29,6	34,7	50,8	

*determinada en árboles abatidos hasta 7 cm de diámetro. ** Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) determinado con corteza.

to del punto cardinal en cada altura y posición de muestreo, comparando sus valores promedios mediante una prueba de medias con observaciones apareadas (Steel & Torrie, 1988). Los efectos de la altura de muestreo en el árbol y la posición en el radio fueron estudiados según un modelo lineal mixto (Littell *et al.*, 1991), donde el árbol y sus interacciones con los demás factores fueron considerados aleatorios. Similar análisis se realizó para la longitud de fibras, incluyendo el efecto de la orientación cardinal y sus respectivas interacciones, en el modelo lineal descrito.

Las aperturas de interacciones correspondientes a efectos fijos, respecto a las comparaciones de medias, se realizaron mediante la prueba de diferencias mínimas significativas (Steel & Torrie, 1988). Los análisis indicados fueron operados mediante PROC MEANS y PROC MIXED del Sistema Estadístico SAS (SAS Institute Inc., 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1- Densidad Básica

No se observaron diferencias destacadas entre la densidad básica registrada en los radios de orientaciones opuestas (norte y sur),

en coincidencia con lo hallado por Igartúa *et al.*, (2000) y Raymond & Muneri (2001) para la misma especie, y por Ferreira (1972) para *E. grandis* (Tabla 2).

Los resultados muestran como tendencia general, un aumento de la densidad básica a medida que la altura del fuste es mayor (Tabla 3). Asimismo los valores de densidad se incrementan desde la médula hacia la corteza, aunque tales incrementos tienden a ser menores en la región superior del tallo. La tendencia general es la descrita para el género y para la especie por otros autores (Brasil & Ferreira, 1972; Ferreira, 1972; Tomazello Filho, 1987; Busnardo *et al.*, 1987; Manfredi & Barrichelo, 1985; Valente *et al.*, 1992; Igartúa *et al.*, 2000; Raymond & Muneri, 2001).

La variación de la densidad básica entre los árboles fue de pequeña magnitud y escasa relevancia ya que sólo fue significativa al 10 % ($p = 0.06$). En anterior estudio sobre *E.globulus* de la misma edad e implantado en otra localidad del sudeste bonaerense (Igartúa *et al.*, 2000) también se observó una poco destacada variación del parámetro entre árboles. Igual comportamiento informaron Bhat *et al.*, (1990) en *E.grandis*. Sin embargo dado el moderado a fuerte determinismo genético sobre las características estructurales del leño,

en general se espera encontrar diferencias entre individuos aún en casos donde los árboles se desarrollen sobre la misma parcela y sean contemporáneos (Wilkes, 1988). Así, se han descrito notorias variaciones individuales, como indicaron, en *E. grandis*, Ferreira (1972), Taylor (1973), Brasil & Ferreira (1972) y lo planteado por Downes *et al.*, (1997) en su revisión del tema.

En el *sentido axial*, se observó un incremento de la densidad básica desde la base al ápice del fuste, claramente evidenciado en el leño próximo a la médula, aunque en la región de madera madura (corteza) los valores se estabilizaron a partir del 30 % de la altura comercial. (Tabla 3). Este comportamiento refleja la interacción significativa ($p < 0.01$) hallada entre altura de muestreo y posición en el radio, término de relevancia en la explicación de la variabilidad de la densidad básica.

Se han descrito en el género diferentes evoluciones axiales de la densidad básica con muestreos más exhaustivos que el desarrollado en el presente. Taylor (1973) y Bhat *et al.*, (1990), en árboles de 3-15 años, basados en valores promedio de cada nivel de altura

de muestreo, indicaron disminuciones de la densidad hasta el 15 % de la altura en el primer caso y 25 % en el otro, seguidas del incremento hacia el ápice. Manfredi & Barrichello (1985), en *E. grandis* y *E. saligna* a través de analizar 10 alturas de muestreo encontraron que la densidad básica disminuyó entre la base y el 10 % de la altura total, incrementándose luego hacia el ápice; idéntica evolución describen Raymond & Mac Donald (1998) y Raymond & Muneri (2001) en *E. globulus* y *E. nitens*, estudiando niveles desde la base a intervalos de a 10 unidades porcentuales. El presente muestreo permitió observar la mínima densidad básica al nivel de la altura del pecho, lo que en promedio representó el 4 % de la altura total.

Apartándose de la descripción anterior, Gonzaga *et al.*, (1983) en *E. viminalis* de 9 años de edad describieron la disminución de la densidad básica desde la base, mediante el muestreo de 4 árboles a 6 alturas proporcionales a la altura comercial; y Busnardo *et al.*, (1983) para 77 árboles de *E. saligna* de 9 años encontraron una disminución de la densidad entre la base y el nivel de la Altura del Pecho

Tabla 2. Valores medios y desvíos estándares (DE) para la densidad básica [$\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$] según las orientaciones cardinales, las alturas de muestreo y las posiciones en el radio.

Means value and standards deviation (DE) for wood density [$\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$] according to cardinal orientations, sampling heights and radial positions.

Altura de muestreo	Posición radial	Orientación cardinal del radio				Valor p (a)	
		Norte		Sur			
		Media	DE	Media	DE		
AP	Médula	0,523	0,031	0,531	0,046	0,64	(ns)
	Intermedio	0,663	0,073	0,666	0,058	0,83	(ns)
	Corteza	0,666	0,043	0,666	0,043	0,98	(ns)
30%	Médula	0,618	0,058	0,599	0,027	0,30	(ns)
	Intermedio	0,670	0,045	0,654	0,041	0,12	(ns)
	Corteza	0,709	0,047	0,703	0,038	0,46	(ns)
60%	Médula	0,664	0,038	0,672	0,040	0,48	(ns)
	Intermedio	0,729	0,054	0,714	0,031	0,37	(ns)
	Corteza	0,716	0,045	0,700	0,039	0,19	(ns)

(a) valor p correspondiente a la prueba de medias con datos apareados. (ns): no significativa ($P > 0.05$)

Tabla 3. Valores promedio de la densidad (Kg.dm^{-3}) según alturas de muestreo y posiciones radiales.

Mean value for wood density [kg.dm^{-3}] according to sampling height and radial positions.

	Médula	Zona intermedia	Corteza	Diferencia Corteza-Médula
AP	0,527 a A	0,664 a B	0,666 a B	0,139
30%	0,609 b A	0,662 a B	0,706 b C	0,097
60%	0,668 c A	0,722 b B	0,708 b B	0,040

Valores con la misma letra no difieren significativamente ($p > 0.01$). Las letras minúsculas se leen para una misma columna, las mayúsculas para una misma fila. EE: Error Estándar para la diferencia de dos medias. EE = 0.015 Kg.dm^{-3} en las filas. EE = 0.013 Kg.dm^{-3} en las columnas. Coeficiente de Variación (CV) = 4.5%

(1,3 m), un aumento leve hasta el 50 % y finalmente un descenso hacia el ápice.

La densidad básica aumentó en sentido médula corteza en correspondencia con el modelo de *variación radial* más comúnmente descrito en el género. En todas las alturas de muestreo los valores parecen estabilizarse a partir del 50 % del radio (Tabla 3), repitiéndose la situación encontrada en el anterior estudio sobre la especie (Igartúa *et al.*, 2000). Esto podría indicar una transición entre la madera juvenil y la madura en esa zona, correspondiente, según los datos dendrométricos, a un diámetro promedio a la Altura del Pecho (DAP) de 25 cm.

Por otra parte, las diferencias médula-corteza en los valores de densidad básica fueron menores hacia el ápice de los árboles (Tabla 3) lo que podría tomarse como indicio de la presencia mayoritaria de tejido con características de madera juvenil hacia el ápice; ello, desde el análisis estadístico, se reveló como una interacción altura por posición en el radio. Taylor (1973) en *E. grandis*, Sardinha & Hughes (1978-1979) en *E. saligna* y Gonzaga *et al.*, (1983) en *E. viminalis* también advirtieron esta interacción debida a los diferentes patrones de evolución radial observados en cada una de las alturas de muestreo.

2- Longitud de fibras

La Tabla 4 indica como tendencia general

el aumento de la longitud de fibras en el sentido médula corteza y su leve variación en función de la altura comercial del fuste, en coincidencia con lo mencionado por la literatura (Brasil & Ferreira, 1972; Sardinha & Hughes, 1978-1979; Tomazello Filho, 1987; Wilkes, 1988; Bhat *et al.*, 1990; Jorge, 1996; Jorge *et al.*, 2000; Igartúa *et al.*, 2000; Muneri & Raymond, 2001).

El análisis de la varianza indicó que la orientación cardinal y la interacción entre altura de muestreo y posición resultaron fuentes significativas ($0,01 < p < 0,05$) de variación para la longitud de fibras, aunque no de marcada relevancia.

Jorge (1996), en *E. globulus* de 12-15 años, estudiando 5 alturas en el fuste y 5 posiciones radiales de muestreo, halló significativa la posición radial, pero no la interacción altura por posición en el radio. En referencia a la orientación cardinal de los radios, los resultados difieren de lo informado por Muneri & Raymond (2001), en *E. globulus* de 5 y 7 años de edad, quienes no encontraron diferencias significativas entre los 4 puntos cardinales; y por Igartúa *et al.*, (2000) en la anterior investigación sobre otra población madura de la especie en la región.

La variación de la longitud de fibras entre los árboles no resultó significativa ($p = 0.50$), en concordancia con Bhat *et al.*, (1990) e Igartúa *et al.*, (2000). En cambio, Jorge (1996) y

Tabla 4. Valores promedio de la longitud de fibras(mm) según la altura de muestreo y posición radial

Means value of fibre length (mm) according to sampling height and radial position.

	Médula	Zona intermedia	Corteza
AP	956,69 a A	1039,47 a B	1169,25 a C
30%	912,61 b A	1118,49 b B	1194,86 b C
60%	954,79 a A	1106,80 b B	1212,49 b C
Promedio	941,36	1088,25	1192,20

Valores con la misma letra no difieren significativamente ($p > 0.01$). Las letras minúsculas se leen para una misma columna, las mayúsculas para una misma fila. EE: Error Estándar para la diferencia de dos medias. EE = 24,47mm en las filas, EE = 25.40 mm en las columnas. CV = 13%.

Jorge *et al.*, (2000) encontraron variaciones significativas entre árboles en diferentes sitios para *E. globulus*. Se espera también para este atributo, encontrar variaciones destacadas entre árboles de la especie determinadas por su genotipo, y por la edad cambial como menciona Downes *et al.*, (1997) en su revisión.

El aumento de la longitud de fibras en sentido radial (médula a corteza) se manifestó notoriamente en todas las alturas de muestreo (Tabla 4). La posición radial (edad fisiológica o edad cambial) se constituyó en la principal fuente de variación, con comportamientos ligeramente cambiantes a través de las alturas de muestreo, lo que justifica la interacción entre altura de muestreo y posición. Los valores en la zona intermedia y en la zona próxima a la corteza no resultaron similares, si bien, a partir del 30 % de la altura comercial podría estar manifestándose una leve tendencia a la estabilización de la longitud de fibras, la que en la misma magnitud se describió en la anterior investigación (Igartúa *et al.*, 2000). La estabilización en los valores de la longitud de fibras en el sentido del radio fue claramente observada en el género y para otras especies por Bisset & Dadswell (1949) y Taylor (1973), en árboles de 50 y 15 años respectivamente, quienes determinaron la constancia del tamaño celular a partir de las posiciones radiales correspondientes a los 8-10 años. Del mismo modo, Sardinha & Hughes (1978-1979), lo indicaron a partir de los 8-9 años. En los *E. globulus* bajo estudio, que superaron esas

edades, dicha estabilización no pudo detectarse.

Al igual que lo indicado por Tomazello Filho (1985a; 1985b), Bhat (1990), Sardinha (1978-1979), Jorge *et al.*, (2000) e Igartúa *et al.*, (2000), en el género, los dos últimos en *E. globulus*, y sobre árboles de más de 10 años, se ha observado que a partir del 50 % de la longitud del radio, el largo de las fibras supera el milímetro.

En el *sentido axial* las variaciones resultaron menos destacadas que en el radial, en acuerdo con la literatura (Wilkes, 1988; Bhat *et al.*, 1990; Ridoutt & Sands, 1994; Jorge, 1996; Jorge *et al.*, 2000, Igartúa *et al.*, 2000) (Tabla 4).

En general se evidenció un leve aumento de la longitud de fibras desde la base a la zona superior del fuste, en coincidencia con resultados anteriores para la especie en la región (Igartúa *et al.*, 2000). Cuando la variación axial se analizó según zonas de igual edad fisiológica (igual posición radial) resultó que, en la zona de la corteza y en la intermedia, los valores de longitud de fibras aumentaron levemente hasta el 30 % de la altura comercial y se estabilizaron a partir de allí, sin embargo, en los tejidos próximos a la médula los valores se mantienen constantes (Tabla 4), lo que se evidenció en la interacción altura de muestreo por posición radial señalada por el análisis estadístico.

Contrariamente, aunque siempre describiendo variaciones de poca magnitud, Wilkes

(1988), Bhat *et al.*, (1990), Ridoutt & Sands (1994), Jorge (1996), Jorge *et al.*, (2000) y Muneri & Raymond (2001) informaron la disminución de la longitud de fibras hacia el ápice, estudiando árboles más jóvenes y a través de más alturas de muestreo que en el presente. Particularmente describen un leve aumento de la longitud hasta el 15-35 % de la altura del fuste, que luego disminuye hacia el ápice.

El coeficiente de variación resultante para la longitud de fibras fue de 13 % (Tabla 4) y es consistente con lo reportado por Downes *et al.*, (1997) quien indicó, a diferentes alturas del fuste, coeficientes entre 13,5 % y 18,9 %. Asimismo resulta un coeficiente similar a los que se deducen de Hamza & Lewark (1994) (entre 10 % y 14 %) y es levemente superior a los citados por Muneri & Raymond (2001), Tomazello Filho (1985a; 1987) que determinaron coeficientes menores al 10 %.

En el presente trabajo las medias de longitud de fibras para cada posición en el radio y altura de muestreo (Tabla 4) se asociaron a un error estándar de 19 mm, implicando que la semiamplitud del intervalo de confianza del 95 % varió según el caso entre 3,2 % y 4,2 % de la media muestral, lo cual permitió alcanzar niveles de "precisión" superadores al 5% referido por los autores citados.

Los promedios según la orientación cardinal fueron, para el norte de 1062 mm ($n = 2700$) y para el sur de 1085 mm ($n = 2700$) con un error estándar para cada media de 9 mm, obteniendo así estimaciones por intervalos de confianza del 95 %, para cada media, de alta precisión, ya que la semiamplitud del intervalo es inferior al 2 % de la estimación puntual obtenida.

CONCLUSIONES

Los modelos generales de variación interna de los dos parámetros estudiados coincidieron con los indicados en la literatura para el género y la especie, esto es: un significativo aumento de la densidad básica y de la lon-

gitud de fibras desde la médula hacia la corteza, superándose el milímetro en la longitud de fibras a partir del 50 % del radio. Los aumentos de ambos atributos, desde la base hacia el ápice, resultaron menos destacados. Las investigaciones locales sobre este recurso fibroso han indicado para la longitud de fibras una evolución axial de sentido contrario al mencionado por otros autores, aunque siempre tratándose de variaciones de escasa magnitud.

Sólo la densidad básica varió entre los individuos, aunque en forma poco notoria, no encontrándose evidencia sobre la influencia de la orientación cardinal del fuste en sus valores. Esta influencia parece manifestarse para la longitud de fibras, aunque en relación con la problemática de la calidad papelerá, resultó poco destacada. Hasta el momento las investigaciones locales no han indicado diferencias relevantes entre los individuos, para la densidad básica y la longitud de fibras.

Sobre la base de las variaciones internas descritas, y de acuerdo a la densidad básica del leño en estos individuos maduros, se podría indicar una probable zona de transición entre la madera juvenil y madura alrededor del 50% de la longitud de los radios a los niveles estudiados, lo que a la altura del pecho representa en promedio un diámetro de 25 cm.

AGRADECIMIENTOS

Los autores hacen expreso su agradecimiento al Sr. Esteban Bruel del establecimiento La Clavija, al Sr. Francisco Ezcurdia, invalorable asistente en el apeo de los árboles y traslado del material al laboratorio, y a la Ing. Sara Carranza por su colaboración en las traducciones al idioma inglés.

BIBLIOGRAFÍA

- Bhat, K.M., K.V. Bhat & K. Dhamodaran. 1990. Wood density and fiber length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. Wood and Fiber

- Science 22(1): 54-61.
- Bisset, W. J. & H. E. Dadswell.** 1949. The variation of fibre length within one tree of *Eucalyptus regnans*, F. Y M. Australian Forestry XIII (2): 86-96.
- Bonifacino, E.** 2000. Núcleo de Extensão Forestal Região Pampeana. Proyecto Forestal de Desarrollo, SAGPyA-BIRF. Necochea. Comunicación personal.
- Brasil, M. A. M. & M. Ferreira.** 1972. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden ao nível do DAP. IPEF 5: 81-90.
- Busnardo, C. A., J. V. Gonzaga, C. E. B. Foelkel, C. Dias & S. Menochelli.** 1983. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose III. A importancia da altura de amostragem para avaliação da densidade básica média da árvore. III Congresso Latinoamericano de Celulose e Papel. Sao Paulo, Brasil. pp. 55-72.
- Busnardo, C. A., J. V. Gonzaga, C. E. B. Foelkel & S. Menochelli.** 1987. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose. IV. Altura ideal de amostragem para avaliação da densidade média para árvores de *E. grandis*. XX Congresso Anual da ABCP- Semana do papel. Sao Paulo, Brasil. pp. 17-33.
- Coronel, E. O.** 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Primera Parte. Instituto de Tecnología de la madera. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina. 187pp.
- Cozzo, D.** 1995. Silvicultura de plantaciones maderables. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. Argentina. Tomo II. 480pp.
- Downes, G. M., I. L. Hudson, C. A. Raymond, A. J. Dean, A. J. Michell, L. R. Schimleck, R. Evans & A. Muneri.** 1997. Sampling Eucalypts for wood and fibre properties. CSIRO Publishing, Australia, 132 pp.
- FAO.** 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. Colección FAO: Montes. Nº 20. Ed. FAO, Roma. 723 pp.
- Ferreira, M.** 1972. Variação da densidade básica da madeira de povamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. IPEF 4: 65-89.
- Foelkel, C. E. B.** 1998. Eucalypt wood and pulp quality requirements oriented to the manufacture of tissue and printing & writing papers. APPITA 52nd Annual General Conference. Anais. 6 pp.
- Fonseca, F. M. A.** 1989. Variação na madeira de *Pinus pinaster* Ait. PhD Tesis. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. U.T.A.D. Vila Real, Portugal. 245 pp.
- Golfari, L.** 1985. Distribución regional y condiciones ecológicas de los eucaliptos cultivados en Argentina. Problemas inherentes. CIEF, Argentina. Publicación Técnica Nº1. 19pp.
- Gonzaga, J. V., C. A. Busnardo, C. Dias, S. Menochelli & C. E. B. Foelkel.** 1983. Caracterização da qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* introduzido na região de Guaíba-RS. III Congresso Latinoamericano de Celulose e Papel. Sao Paulo, Brasil. pp. 1053-1071.
- Hamza, K. F. S. & S. Lewark.** 1994. Sampling for wood properties in trial plots of 4 Eucalyptus species at Ruvu, Tanzania. Annals of Forestry Sciences 51: 233-240.
- Igartúa, D. V., S. M. Rivera, M. G. Monterubbianesi, S. E. Monteoliva, S. Farina, S. L. Carranza & M. S. Villegas.** 2000. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. I. Variación de la densidad básica y el largo de fibra en una estación del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel Misiones. 20pp
- IRAM 9544.** 1973. Métodos de determinación de la densidad aparente.
- Jane, F. W.** 1956. The structure of wood. Ed. Adam and Charles Black. Londres. Reino Unido. 478 pp.
- Jorge, F.** 1996. Variabilidade anatômica da madeira da *Eucalyptus globulus* Labill. XV Congresso Nacional Tecnical. Centro de Cultura e Congressos de Aveiro, Lisboa. pp. 118-127.
- Jorge, F., T. Quilhó & H. Pereira.** 2000. Variability of fibre length in wood and bark in *Eucalyptus globulus*. International Association of Wood Anatomists Journal 21(1): 41-48.
- Jozsa, L. A. & G. R. Middleton.** 1994. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Forintek Canada Corp. Western Laboratory, Vancouver, B.C. 42 pp.
- Littell, R. C., R. J. Freund & P. C. Spector.** 1991. SAS System for Lineal Models. Cary NC, SAS Institute Inc. Tercera Edición.
- Manfredi, V. & L. E. G. Barrichelo.** 1985. Variação do rendimento em celulose sulfato ao longo do tronco do eucalipto. XVIII Congresso Anual da ABCP- Semana do Papel. Sao Paulo, Brasil. pp. 5-25.
- Moschini, R. C., H. A. Conti, M. Alonso, J. Rodríguez Traverso, V. Nakama, & A. Alfieri.** 2000. Delimitación de áreas de aptitud climática para el cultivo de los eucaliptos en la región pampeana. SAGPyA Forestal 15: 2-11.
- Muneri A. & C. A. Raymond.** 2001. Nondestructive sampling of *E. globulus* and *E. nitens* for wood properties. II. Fibre length and coarseness. Wood Science and Technology 35: 41-56.
- Raymond, C. A. & A. C. Mac Donald.** 1998.

Where to shoot your pilodyn: within tree variation in basic density in plantation *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* in Tasmania. New Forests 15: 205-221.

- Raymond, C. A. & A. Muneri.** 2001. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens* for wood properties. I. Basic density. Wood Science and Technology 35: 27-39.
- Ridoutt, B. G. & R. Sands.** 1993. Within-tree variation in cambial anatomy and xylem cell differentiation in *Eucalyptus globulus*. Trees 8: 18-22.
- Ridoutt, B. G. & R. Sands.** 1994. Quantification of the processes of secondary xylem fibre development in *Eucalyptus globulus* at two height levels. International Association of Wood Anatomists Journal 15 (4): 417-424.
- Rodríguez, S. S. K. & U. M. H. Torres.** 1991. Obtención de pulpa Kraft de desechos y astillas comerciales de eucalipto. Ciencia e Investigación Forestal 5 (2): 203-215.
- Rodríguez, J. C.** 2000. Registros de temperaturas (Período 1990-1998), y pluviométricos (Período 1931-1998) en el Semillero Buck, La Dulce. Provincia de Buenos Aires. Comunicación personal.
- Sardinha, R. M. & F. J. Hughes.** 1978-1979. Wood properties variation of *Eucalyptus saligna* SM. From Angola. Anais do Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 38:105-124.
- SAS.** 1996. SAS user's Guide-Release 6.12. SAS Institute Inc.; Cary, EEUU. 551pp.
- Soil Survey Staff.** 1998. Soil Taxonomy. 8th Edition U.S. Dept. of Agric. Natural Resources Conservation Service. U.S. Government Printing Office, Washington. D.C. 327 pp
- Steel, R. & J. H. Torrie.** 1985. Bioestadística. Principios y procedimientos. Mc Graw Hill. Segunda Edición. 622pp.
- Taylor, F.** 1973. Anatomical wood properties of South African grown *Eucalyptus grandis* South African Forestry Journal 84: 20-24.
- Tomazello Filho, M.** 1985a. Variação radial da densidade básica e da da estrutura anatómica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. IPEF 29: 37-45.
- Tomazello Filho, M.** 1985b. Variação radial da densidade básica e da da estrutura anatómica da madeira do *Eucalyptus gummifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. IPEF 30: 45-54.
- Tomazello Filho, M.** 1987. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatómica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. Pellita* e *E. acmenoides*. IPEF 36: 35-42.
- Valente, C. A., A. Mendes de Sousa, F. P. Furta-do & A. P. de Carvalho.** 1992. Improvement program for *Eucalyptus globulus* at PORTUCEL: Technological component. Appita 45 (6): 403-407.
- Wilkes, J.** 1988. Variations in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. International Association of Wood Anatomists Bulletin n.s.9 (1): 13-23.
- Yang, K. C., Y. C. Chen & C. Chiu.** 1994. Formation and vertical distribution of juvenile and mature wood in a single stem of *Cryptomeria japonica*. Canadian Journal Forestry Research. 24: 969- 975.
- Zobel, B. & J. Talbert.** 1988. La madera y el mejoramiento genético forestal. En: Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. España. 545pp.